

DITS (2009/02).

Working Paper del Departament d'Organització D'empreses de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Rediseño de una línea de ensamblaje de contactores eléctricos aplicando principios y técnicas de producción ajustada.

Albert Suñé Torrents¹, Sofía Aguilera Giménez²

¹ Departament d'Organització d'Empreses. Universitat Politècnica de Catalunya.

² ETS. d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa. Universitat Politècnica de Catalunya.

Resumen

El presente documento describe un caso real de una línea de ensamblaje de minicontactores eléctricos. En su situación inicial, la línea no alcanzaba los requerimientos de los clientes en cuanto a flexibilidad y capacidad, lo que se manifestaba en retrasos en los plazos de entrega a clientes. A partir del análisis basado en principios de producción ajustada y de la aplicación de técnicas lean, se rediseñó la línea de modo que se resolvieran los problemas iniciales. Adicionalmente, la línea vio incrementada su productividad, redujo la superficie ocupada, incorporó un sistema de aprovisionamiento cíclico, mejoró la ergonomía y redujo el inventario en curso necesario para su funcionamiento.

Palabras clave: Producción ajustada, Lean manufacturing, Despilfarros

1. Objetivo del estudio

Este estudio abarca la descripción y el análisis de la situación inicial de una línea de ensamblaje de contactores eléctricos y propone una serie de mejoras para definir una situación final en la que se reducen los despilfarros.

El análisis incluye los cambios necesarios en la distribución en planta, el equilibrado de la línea a partir de los tiempos de los elementos, el diseño de un sistema regular de aprovisionamiento y la mejora de la ergonomía en lo que se refiere a dimensiones de los puestos de trabajo y pasillos.

En su situación inicial, la línea de montaje no tenía capacidad suficiente para cumplir con la demanda del cliente. Ello se debía a una gran cantidad de actividades que no aportaban valor añadido al producto. En ese sentido era un caso muy interesante, ya que, si se mejoraban unos cuantos factores clave, se podría cumplir con la demanda, aumentando la productividad, además de mejorar otros aspectos también importantes como la flexibilidad de la línea, el inventario en curso y la ergonomía de los puestos de trabajo además de reducir la superficie necesaria para el proceso de montaje.

Mejorar el servicio, es decir, cumplir con la demanda del cliente en el plazo que éste exige (siempre dentro de un periodo razonable), era un meta muy importante para la organización donde se realizó el estudio, ya que, en aquel momento los plazos no se cumplían en un 25% de los pedidos. No cumplir con todos los plazos de entrega que se prometían, era una causa de riesgo de perder clientes si otra empresa les ofrecía un producto similar en un plazo más corto de tiempo. El objetivo del estudio era conseguir que el cliente estuviera satisfecho y se pudiera dar un buen servicio de forma regular.

Este estudio sirvió también para reducir el inventario en curso, excesivo en la línea. De manera que se dejaría de tener capital inmovilizado en inventario y podría invertirse otro activo que ofreciera una rentabilidad a la compañía. También se deseaba reducir el espacio ocupado por la línea para dedicarlo a otro uso.

2. Breve descripción de las técnicas de producción ajustada utilizadas en el proyecto

Se puede decir que la producción ajustada (o *lean manufacturing*) se trata de una filosofía de gestión que está orientada a la reducción de los 7 tipos de “muda” o despilfarros (Hirano, 2001). Se considera despilfarro toda aquella actividad que consume recursos sin crear valor. La filosofía de producción ajustada nació sobre 1930 de la mano del fundador de la Toyota Motor Company, Kiichiro Toyoda. Más tarde, en los años 50, Eiji Toyoda y Taichi Ohno, siguieron desarrollando sus ideas y dando lugar al Sistema de Producción Toyota. (Womak y Jones, 2005)

Las herramientas lean son muchas y muy variadas, e incluyen procesos de mejora continua (kaizen), producción en flujo tirado (pull flow), dispositivos antierror (poka yoke), producción unidad a unidad (one-piece-flow), cambios rápido de utillaje para alcanzar la flexibilidad (Single Minute Exchange of Die o SMED), control de stocks por reposición (Kanban), etc. De todas ellas, las que fueron aplicadas en el estudio, se describen brevemente a continuación.

2.1. Mapas del Flujo de Valor

“El punto de partida básico del pensamiento Lean es el valor. El valor de un bien o servicio sólo puede determinarlo el consumidor final. Y solamente es significativo cuando se expresa en términos de un producto o servicio específico que satisface las necesidades del consumidor a un precio concreto, en un momento determinado. El valor lo crea el productor. Desde el punto de vista del cliente esta es la razón por la que existe el productor. No obstante en multitud de ocasiones no es fácil para el productor definir el valor de modo preciso.” (Womack y Jones, 2005)

Si una compañía conoce exactamente cuál es el valor de su bien o servicio ya tiene la clave: enfocar todos sus esfuerzos a generar el valor que el cliente encuentra en su producto o servicio. La técnica de la cartografía de flujo de valor o Value Stream Mapping persigue la representación y análisis crítico de las operaciones para identificar los principales desperdicios de un proceso productivo. (Tapping et al, 2003)

2.2. Flujo tirado (Pull flow)

“Pull”, en inglés atraer, es una palabra que se ha adoptado para representar la idea de que la producción es tirada por el cliente y no empujada por órdenes de fabricación basadas en previsiones. El contrario es “push”, en inglés empujar, que quiere decir producir y producir sacando producto al mercado esperando que se venderá.

El control de producción en flujo tirado es un sistema de órdenes de reposición de material que se inicia en el final del flujo del producto y se transmite aguas arriba por la detección física o electrónica de falta de material. Nada se fabrica aguas por el proveedor arriba hasta que el cliente aguas abajo expresa su necesidad.

2.3. Flujo unidad a unidad (one-piece-flow)

El flujo unidad a unidad es la solución a la acumulación de inventario en la línea. Se trata de conseguir que las piezas pasen de estación en estación de trabajo una a una en lugar de hacerlo en lotes. Este sistema de producción tiene ventajas, de las cuales, merece la pena destacar:

- Hace visibles los problemas: La fabricación pieza a pieza no permite ningún “colchón” que pueda ocultar los errores. Si se produce cualquier problema en un puesto de montaje, la consecuencia es inmediata, toda la cadena se para.
- Fuerza la resolución de problemas: Una vez se ha identificado un problema y se ha convertido en un problema de la mayor gravedad (la cadena de montaje está parada) toda la energía de la organización se centra en resolver el problema, y hacerlo de una manera permanente para evitar que se repita.
- Fuerza a tener el trabajo estandarizado: La resolución del problema con garantía de que no se repita en el futuro pasa necesariamente por el hecho de la estandarización. Sólo con una buena estandarización se puede asegurar que el problema no se repetirá.

Resulta, por tanto, una de las herramientas más potentes de la fabricación Lean, ya que nos permite identificar rápidamente el despilfarro, fuerza a corregirlo e impulsa la estandarización del proceso.

2.4. Cinco S

Son la base de todo buen programa de calidad, y tienen como principio el establecimiento de un entorno productivo evidente y fácil de controlar de un vistazo.

Las 5 eses, son 5 palabras en japonés (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke) que se traducirían al castellano como eliminar, ordenar, limpiar, estandarizar y respetar.

Eliminar se refiere a distinguir claramente los elementos necesarios de los innecesarios de los puestos de trabajo o fábricas en general y eliminar estos últimos. Ordenar quiere decir mantener los elementos necesarios en el lugar correcto para facilitar una ubicación fácil e inmediata. Limpiar implica mantener los puestos de trabajo y la planta limpia y ordenada para así identificar más fácilmente cosas que están fuera de su sitio y evitar problemas de calidad. Estandarizar significa definir las reglas necesarias que aseguren que la nueva organización será mantenida en el tiempo. Respetar es convertir en hábito el mantenimiento de los procedimientos establecidos.

2.5. Células de fabricación en “U”

El concepto de células en “U” (también conocidas como “Líneas en “U” Toyota”) fue desarrollado en los años 60. En una época en la que se consideraban la automatización y la tecnología como la única vía de mejora competitiva, era chocante que Toyota organizase sus fábricas en torno a pequeñas células de montaje manual muy sencillas, sin apenas automatismos ni robots, en las que la producción se planificaba prescindiendo de complejos sistemas informáticos.

Las células U son una solución que se basa en la búsqueda y supresión permanente del no-valor añadido, la reducción de stocks, la flexibilidad de las instalaciones, la preocupación por la optimización del flujo de materiales y la mejora continua desarrollada con la participación de los propios operarios de producción.” (Suñé et al., 2004).

La célula en forma de U es una configuración de la cadena de montaje resultado de una filosofía de trabajo. Combina las ventajas de la distribución en planta orientada al proceso y orientada al producto. Se basan en unos conceptos sencillos pero muy eficaces:

Algunas ventajas de la producción en células U son la reducción de las distancias entre los puestos de trabajo y máquinas facilita que un mismo operario pueda acceder a varias de ellas. Eso facilita el equilibrado de la línea y también la adaptación de ese equilibrado a la demanda cambiante de forma rápida y sencilla, aunque requiere un alto grado de polivalencia en los trabajadores.

Las células U eliminan el inventario en curso gracias al flujo unidad por unidad en flujo tirado, donde sólo se permite una unidad en curso entre dos puestos consecutivos. En este contexto los desequilibrios entre puestos se detectan muy fácilmente y su distribución del espacio muy compacta facilita la comunicación y la ayuda entre operarios al estar cerca unos de otros.

Adicionalmente, las células U permiten la variación de la cadencia en el tiempo de ciclo de la línea manteniendo la productividad y ajustar el número de operarios a un valor no entero. Por ejemplo, si se requiere un número de operarios igual a 4,5 se puede trabajar la mitad del tiempo con 4 y la otra mitad con 5.

Además esta distribución esta totalmente recomendada en casos como este, como se verá más adelante: proceso totalmente manual o con alguna fase automática, cadencia entre 25 y 90 segundos, número de operarios necesarios de 4 a 6, producto de peso, forma y volumen adecuado que permite la transferencia manual entre puestos, etc.

En lo que se refiere a la distribución física hay que tener en cuenta una serie de aspectos:

- El interior de la U debe estar libre de obstáculos.
- Todos los puestos deben estar orientados hacia el interior de la U de forma que ninguno quede aislado de los demás.
- La distancia entre los puestos de trabajo y la longitud de la U deben ser reducidos para permitir los desplazamientos entre puestos y el flujo del material de “mano en mano”.

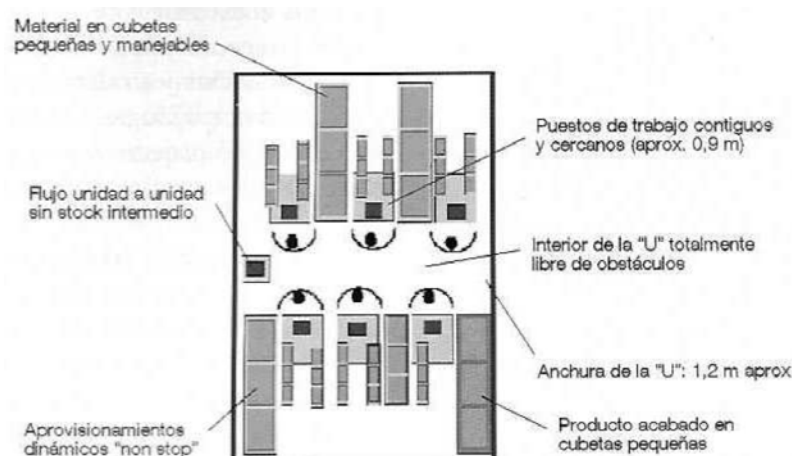


Figura 1. Layout de una célula en “U” correctamente configurada (Suñé et al., 2004)

El aprovisionamiento de material es también un elemento clave, debe ser posible aprovisionar material a cada puesto de trabajo y evacuar el producto acabado sin entrar en el interior de la U. Además los puestos de trabajo tienen que tener una disposición de manera que el hecho de que se termine un contenedor no sea motivo de paro de la estación, esto se consigue fácilmente con unas estanterías inclinadas hacia el operario para suministrar el material y otras de evacuación en sentido contrario para dejar los contenedores vacíos.

2.6. Diagrama spaghetti

El diagrama spaghetti es una herramienta sencilla que ayuda a identificar los movimientos de los operarios, de una forma muy visual.

Se trata de un esquema en el que aparece una distribución en planta de la zona a analizar, y sobre el se dibujan todos los recorridos que realizan los operarios, o uno en concreto, dependiendo de lo que interese. Una vez los recorridos están dibujados se puede ver dónde se generan más despilfarros de transporte, qué puntos son conflictivos porque se cruzan

muchos caminos, etc. Si además contamos los metros que se recorren en cada movimiento podemos disponer de un buen análisis de los movimientos en la fábrica y así analizar su coste y sus despilfarros

2.7. Kaikaku (Action Work Out)

Kaikaku quiere decir en japonés mejora radical. En algunas ocasiones también recibe el nombre de “Action Work Out”.

Una actividad kaikaku es un evento de corta duración (dos o tres días) en el que un grupo de personas de la planta (y a veces de otras plantas del grupo o consultores externos) se reúnen para atajar un problema de forma radical. Implantando las oportunidades de mejora instantáneamente con los medios disponibles. Suele tratarse de una actividad intensiva parando sólo para comer.

En muchas ocasiones se trata de un proyecto de reingeniería donde se suele cambiar totalmente el diseño de una línea o una distribución en planta. Los cambios radicales suelen ser útiles, pero es necesaria una mejora continua (kaizen) para que los cambios perduren en el tiempo y se resuelvan las cuestiones de detalle que no han podido tratarse durante el kaikaku.

3. Descripción del caso y del proceso de producción

3.1. Antecedentes

La empresa, cuya línea de montaje se estudia en este trabajo, era una multinacional norteamericana que tenía una historia de más de 125 años, diversificada en tecnología, fabricación y servicios creada a lo largo de un siglo de éxito e innovación.

La multinacional estaba compuesta por una amplia gama de unidades de actividades principales, cada una de ellas con sus respectivas divisiones. La división a la que pertenecía la planta de producción de estudio era la de Sistemas Industriales. Ésta ponía a disposición del cliente lo último en productos tecnológicos para la distribución, protección y control de energía y equipamiento eléctricos, al tiempo que ofrecía productos y soluciones de servicios innovadores para aplicaciones de servicios públicos, residenciales, industriales y comerciales.

La planta de producción donde se realizó el proyecto estaba físicamente ubicada en Sant Vicenç de Castellet, provincia de Barcelona, y se dedicaba a la fabricación de contactores eléctricos hasta 32 KW.

La fábrica que se estudia no fue siempre de la multinacional. Antes pertenecía a una empresa familiar que se dedicaba al negocio de los contactores. Al cambiar de manos, la mayoría de los empleados se mantuvieron en sus puestos, empleados que continuaron formando una gran parte de la plantilla.

Así, el equipo humano que trabajaba en la empresa era de dos orígenes y características totalmente diferentes. Un grupo de personas fue heredado de los orígenes familiares de la empresa, donde pocas personas dominaban la lengua inglesa y se enfocaban a la calidad en el trabajo más que hacia los resultados. Ellos tenían que trabajar junto a un equipo,

generalmente más joven, de procedencia muy diversa, con lengua básica de comunicación el inglés y con una filosofía de trabajo más competitiva, enfocada a los resultados, debido a la formación que la empresa les había facilitado.

3.2. Las materias primas

La planta se abastecía de materias primas o semielaborados para fabricar sus contactores. Llamaremos materias primas, por ejemplo, a la granza de plástico para inyectar las piezas necesarias para el contactor, el hilo de cobre para hacer las bobinas, el fleje metálico para los circuitos magnéticos, la plata para los contactos, etc. Y semielaborados a las piezas o componentes que se compraban terminadas a otras plantas como piezas metálicas, o a las piezas de goma que se compraban hechas, embalajes, etc.

3.3. El proceso

Para fabricar un contactor era necesario primero fabricar algunas de sus piezas, como por ejemplo la carcasa o el frontal que deberían ser fabricadas en la sección de máquinas inyectoras a partir de la materia prima de plástico. También se necesitaba producir el circuito magnético que permitiría el buen funcionamiento del aparato. Este proceso tenía lugar en la sección de piezas metálicas de la planta dónde se cortaba el fleje en un montón de piezas delgadas que luego se unían para terminarla. También era necesario fabricar las bobinas en una máquina que enrollaba el hilo de cobre en un carrete.

Una vez se tenían todos los componentes necesarios empezaba el trabajo de las líneas de montaje para configurarlas correctamente y que saliera al mercado un contactor eléctrico del proceso cada 24 segundos.

3.4. Los Productos (outputs)

En la planta de producción de Sant Vicenç de Castellet se fabricaban 7 tipos diferentes de contactores y algunos accesorios para ellos. Los modelos de contactor que se fabricaban en este caso eran, de más pequeño a más grande: MC (minicontactor), CL, CKN y CSC. Los accesorios eran el MA para MC y el BCLL, BCLF para los CL.

La línea de la familia MC minicontactor fue la se analizó. Se trataba del contactor más pequeño que se fabricaba en la planta. Había muchas variantes distintas aunque sólo fueron analizados los más comunes:

- MCCA: contactor pequeño de corriente alterna.
- MCCC: contactor pequeño de corriente continua.
- MCCAP: contactor pequeño de corriente alterna de contactos especiales.
- MCCCPC: contactor pequeño de corriente continua de contactos especiales.
- MCME: contactor pequeño muelle especial, sólo corriente continua.



Figura 2. Minicontactor de corriente alterna

En la filosofía de producción ajustada, valor significa qué busca el cliente de un determinado producto. El análisis del valor para el cliente no siempre es evidente y no todas las compañías consiguen identificarlo e ir a por él.

Definición del valor: Para los clientes de la compañía, el valor de uno de sus contactores estaba en un instrumento que cerrara y abriera un circuito eléctrico de determinadas características técnicas personalizadas, sin exigir una cantidad mínima de pedido, a un precio razonable y en el plazo que lo necesitara.

En el momento inicial del proyecto se cumplían completamente los requisitos de personalización, cantidad mínima y precio, pero no se cumplía el plazo de entrega.

4. Situación Inicial de la línea de ensamble del minicontactor (MC)

Un minicontactor se componía de unas 52 piezas algunas de plástico como la carcasa y algunas metálicas como los contactos. La mayoría de las piezas del aparato eran fabricadas en la misma planta. La nave estaba dividida en dos partes; una en la que se ensamblaban los contactores y otra donde las máquinas inyectoras fabricaban las piezas de plástico y las prensas y remachadoras hacían las piezas metálicas. Otros semielaborados se compraban a proveedores externos o a otras plantas que la multinacional tenía en Europa.

Para empezar a producir, todos los componentes se colocaban en una estantería cercana a la línea y el personal de la línea reponía por sí mismo el material para su puesto desde ahí. Existía una persona encargada de reponer el material en toda la planta, pero sólo tenía capacidad para suministrar a la estantería y no abastecía las líneas de producción directamente.

Desde la estantería de componentes empezaba la producción del minicontactor. La línea del minicontactor era una línea de ensamble. El producto se fabricaba en 5 estaciones de trabajo en cadena que incorporaban componentes y subensamblajes suministrados por varias estaciones auxiliares. Entre las estaciones de trabajo de la línea, el flujo discurría en lotes de 25 piezas.

El proceso productivo variaba en función del modelo que se estaba fabricando, lo que suponía una dificultad añadida, ya que era necesario reequilibrar la línea para cada modelo de contactor que se fabricaba. La configuración de la línea variaba dependiendo de si los modelos eran para corriente continua o corriente alterna, añadiéndose más o menos estaciones auxiliares según el modelo (ver figura 4).

Se ha denominado ET a las estaciones de trabajo que formaban parte de la línea principal de ensamble y EA a las estaciones auxiliares que fabricaban subconjuntos para la línea principal.

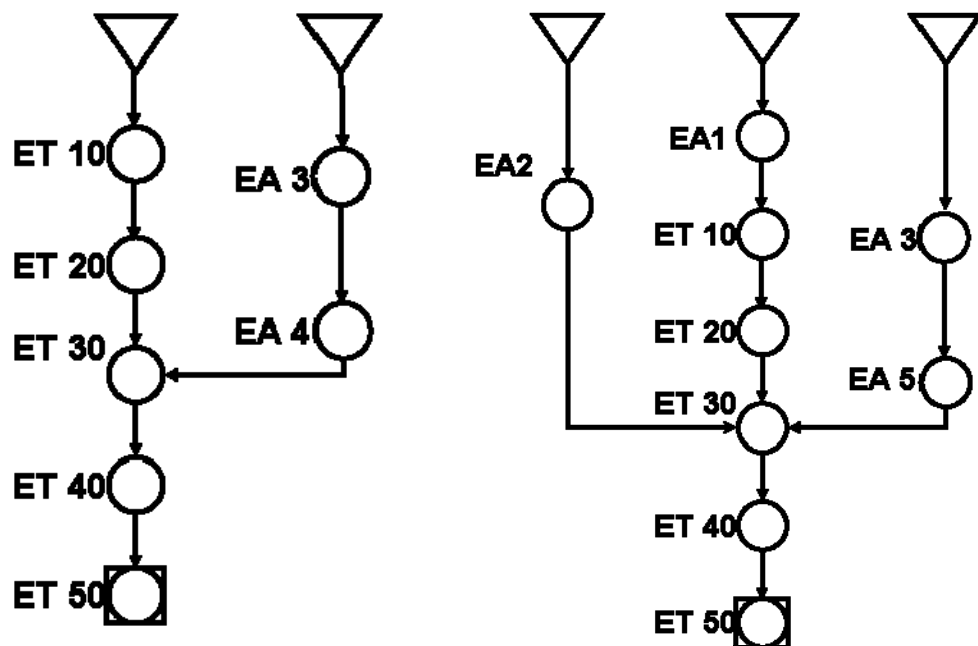


Figura 3. Esquema de montaje para los modelos de corriente alterna (izquierda) y corriente continua (derecha).
ET: Estación de trabajo, EA: Estación auxiliar

A continuación se detalla el proceso productivo del minicontactor de corriente continua de contactos especiales (MCCP). Su esquema de montaje corresponde con la figura 4 derecha. Este modelo era el que requería más operaciones de ensamble por tratarse del más complejo al estar compuesto de mayor cantidad de subensamblajes en estaciones auxiliares.

Veamos el proceso desde el principio; desde las estaciones auxiliares que fabricaban algunos subconjuntos para la línea principal hasta el fin del proceso principal. Por motivos de confidencialidad se aportan sólo datos de tiempo agregados.

Estación Auxiliar 1 (EA1): montar conjunto A (sólo corriente continua)

1. *Coger pieza 17 de una caja.*
2. *Coger pieza 18.*
3. *Insertar pieza 18 en los orificios correspondientes en pieza 17.*
4. *Coger una pieza 19.*
5. *Acoplar piezas 17 y 18 preensambladas en 19.*
6. *Eliminar la posible rebaba en la pieza 18 con la ayuda de una cuchilla..*
7. *Poner subconjunto A obtenido en una bandeja*

Esta bandeja se llevaba a la estación de trabajo 1 para iniciar el proceso de ensamble en la línea principal. Mientras, no se utilizaba, el material se acumulaba en el suelo, ya que no tenía una ubicación asignada

Estación auxiliar 2 (EA2): terminar conjunto E (sólo corriente continua)

1. *Coger pieza 20 de la caja.*
2. *Coger 2 piezas 21.*
3. *Insertar piezas 21 en pieza 20.*
4. *Coger 2 piezas 22.*
5. *Colocar piezas 22 en pieza 20.*
6. *Dejar conjunto E terminado en una caja.*

La bandeja se llevaba a la estación de trabajo ET30. Mientras no se requería, se acumulaba en el suelo por falta de una ubicación definida.

Estación auxiliar 3 (EA3): conjunto L o LL para EA 4 y 5 (corriente alterna y continua respectivamente)

1. *Coger pieza 13 (ó 14 según modelo) de una caja.*
2. *Poner en el utillaje.*
3. *Accionar el utillaje para que acople a la pieza 13 dos piezas 14.*
4. *Coger conjunto resultante L (o LL según modelo).*
5. *Dejar L o LL en una caja.*

Estación auxiliar 5 (EA5): Conjunto N para ET 30 (corriente continua)

1. *Coger conjunto L de una caja.*
2. *Poner L en una máquina.*
3. *Mientras la máquina trabaja coger el L que ya ha salido de la máquina.*
4. *Ponerlo en otra máquina, obteniendo luego M.*
5. *Poner cinta adhesiva protectora a M.*
6. *Poner pieza 14 a M, obteniendo N.*
7. *Poner N en una caja.*

Cuando se terminaba un lote de N se llevaba a su ubicación en la estantería de subensamblajes.

Estación de trabajo 10 (ET10):

1. *Coger el conjunto A de su caja o bandeja y verificar visualmente. (1,74 s.)*
2. *Insertar 4 piezas 15 dobles en A (27 s.)*
3. *Colocar A en el utillaje, accionar utillaje. (3,70 s. tiempo de máquina)*
4. *Coger el conjunto resultante B de utillaje y ponerlo en bandeja. (2,08 s.)*

El proceso se repetía hasta ensamblar 25 subconjuntos B que se ponían en una bandeja para que pasaran a la siguiente estación de trabajo. Al terminar dejaban la bandeja en la cinta transportadora

Estación de trabajo 20 (ET20):

1. *Coger pieza 2 y conjunto B de la ET 10, examinar visualmente. Insertar el conjunto B, en pieza 2. (3,95 s.)*
2. *Posicionar conjunto resultante C en el utillaje y poner pieza 5. (3,75 s.)*
3. *Posicionar en utillaje 8 piezas 3. (10,62 s.)*
4. *Posicionar en utillaje 1 pieza 4 en la correspondiente ranura. (2,97 s.)*
5. *Accionar para que utillaje inserte piezas 3 y 4 en C . (2,18 s. tiempo de máquina)*

6. *Verificar el conjunto D visualmente, dejar en la misma bandeja de donde se coge el conjunto B. Cuando está completa pasar a la siguiente estación de trabajo. (1,15 s.)*
7. *Aprovisionar material de contenedores (0,18 s.)*

Estación de trabajo 30 (ET30):

1. *Coger conjunto N de una caja, coger también E (premontado en EA 2) de su caja y montar E el N. (4,19 s.)*
2. *Coger pieza 8 y poner dentro E y N ensamblados obteniendo conjunto G. (4,17 s.)*
3. *Coger pieza 9 de una bandeja, coger también conjunto D (premontado en ET20), colocar pieza 9 sobre G y luego posicionar encima D y apretar hasta oír “clic” obteniendo nuevo conjunto I. (6,57 s.)*
4. *Poner pieza 7 en nuevo conjunto I. (4,01 s.)*
5. *Verificar con destornillador y dejar en la cinta transportadora. (3,13 s.)*
6. *Aprovisionar material. (0,99 s.)*

Estación de trabajo 40 (ET40):

Por el lado izquierdo le llega el subsamblaje I de la estación anterior, por el derecho las piezas 11.

1. *Coger el ensamblaje procedente de la estación anterior I y lo colocarlo en la mesa.*
2. *Colocar pieza 12 sobre piezas 11.*
3. *Situar encima un imán que atrae piezas 11 sobre 12 para que se queden debidamente ensambladas obteniendo ensamblaje J.*
4. *Colocar en conjunto I en la máquina.*
5. *Repetir 1 y 2.*
6. *Colocar conjunto resultante K en una máquina.*
7. *Sacar el aparato K ya terminado de la máquina y lo dejarlo sobre la mesa de la siguiente estación.*

El tiempo de ciclo (23 s.) lo marcaba el tiempo de máquina ya que era superior al tiempo de las operaciones manuales.

Estación de trabajo 50 (ET50):

1. *Coger el aparato K y lo examinarlo visualmente.*
2. *Colocar el aparato K en la máquina de verificar.*
3. *Mientras se verifica, pegar una etiqueta a la caja individual.*
4. *Si el aparato es correcto introducir en la caja individual y posteriormente en la caja múltiple.*
5. *Si no es correcto le colocar una etiqueta con el defecto que la máquina ha encontrado y dejarlo en una bandeja.*

El tiempo de ciclo (19 s.) lo marcaba el tiempo de máquina ya que era superior al tiempo de las operaciones manuales.

4.1. Distribución en planta

Al inicio de este estudio la distribución de la línea de montaje no era la más adecuada teniendo en cuenta las técnicas de producción ajustada. La figura 3 muestra un esquema de la distribución inicial.

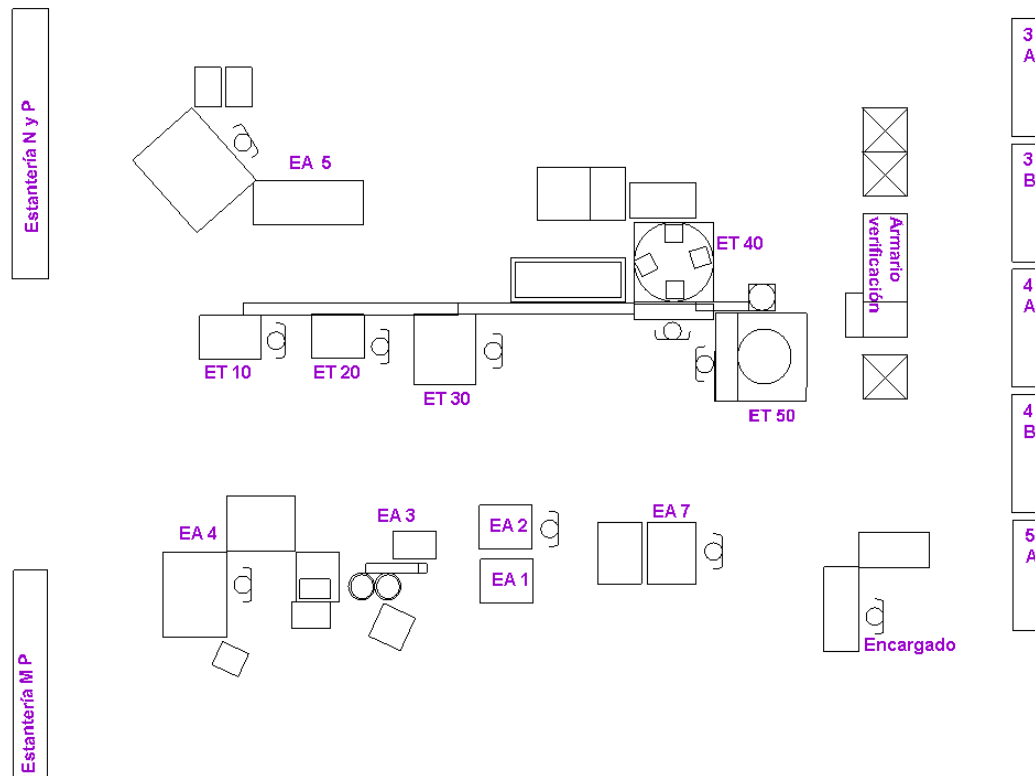


Figura 4. Distribución en planta inicial, antes de aplicar técnicas de producción ajustada

Las estanterías que se observan en el extremo de la figura eran de inventario a pie de línea para el aprovisionamiento de materia prima y semielaborados con las piezas que más se usaban. En las estanterías P y N se almacenaban los componentes producidos en las estaciones auxiliares 4 y 5. Y en la estantería MP se almacenaba la materia prima que usaban las estaciones auxiliares 4 y 5. La superficie ocupada por la línea con esta distribución en planta era de unos 150 m².

La distribución de la línea principal presentaba el inconveniente de que el abastecimiento de las estaciones de trabajo era complicado porque había muy poco espacio y se molestaba a los operarios mientras trabajaban. Además había una cinta transportadora que desplazaba el producto entre puestos, donde se acumulaba inventario.

La distribución de las estaciones auxiliares no estaba orientada al flujo del material. Los subensamblajes que éstas fabricaban no tenían ubicación en la planta, así que se acumulaban en el suelo a la espera de ser usadas en algún momento.

4.2. Flujo de material

Distinguiremos dos tipos de materiales al hablar de flujo. Era distinto el sistema de aprovisionamiento de componentes premontados que el flujo de material directamente de la estantería.

El material que necesitaban las estaciones de trabajo ubicado en las estanterías era aprovisionado por un reponedor a demanda, que hacía la siguiente ruta irregular:

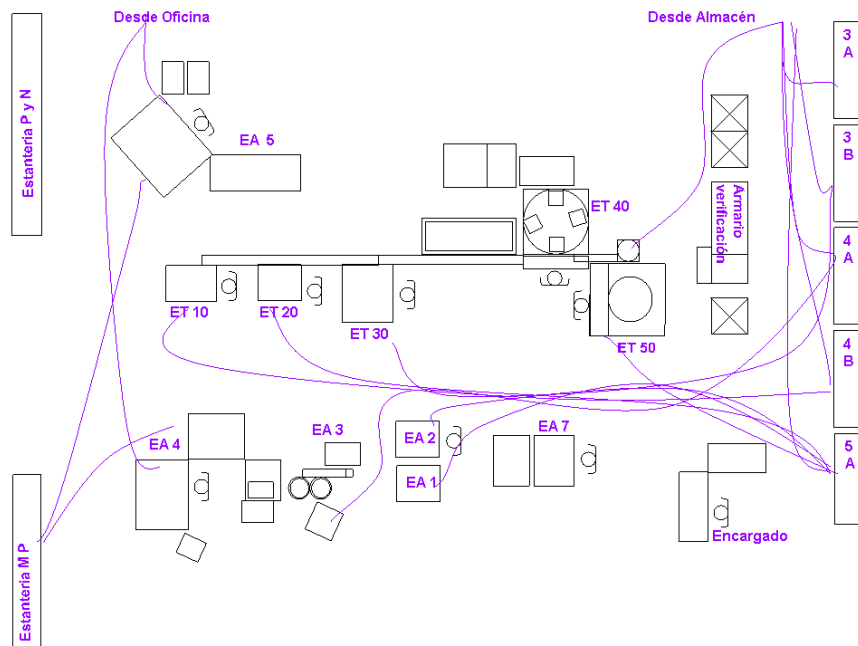


Figura 5. Flujo de material proporcionado por el reponedor

No obstante, la realidad era que el reponedor no daba abasto para aprovisionar toda la planta, con lo cual, la mayoría del tiempo los operarios se levantaban ellos mismos de sus puestos para aprovisionarse el material. Además de los movimientos que hacían por las rotaciones y por mantenimiento de alguna máquina cuando ésta se atascaba o se estropeaba.

Se hace notar en la figura 6 el flujo general de materiales entre estaciones de trabajo. La EA 3 abastecía a las estaciones auxiliares EA 4 y EA 5. Los componentes que éstas producían se almacenaban en las estanterías N y P a la espera de ser utilizados. A su vez EA 1 montaba un subensamblaje para ET 10 y la EA 2 montaba otro para ET 30.

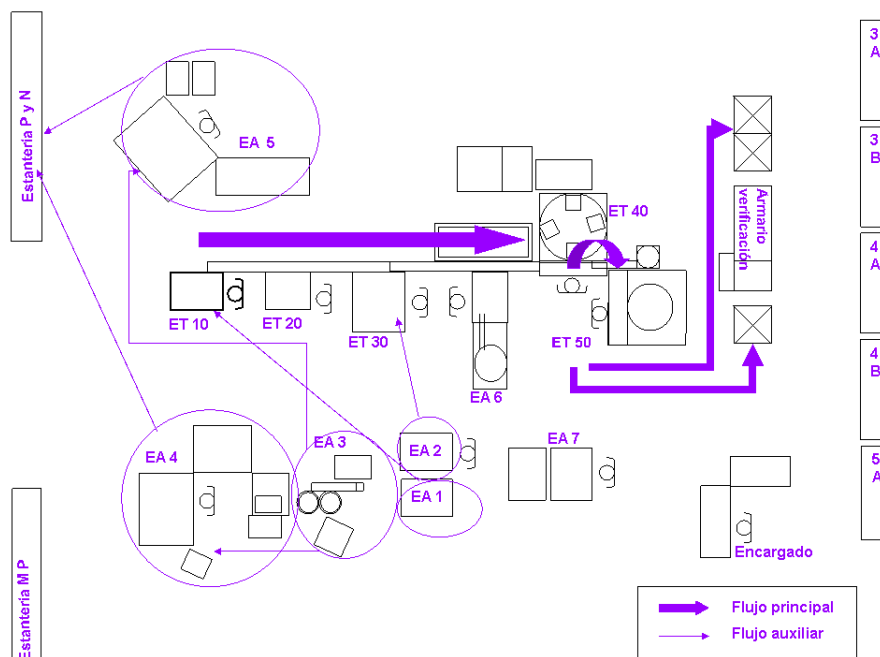


Figura 6. Flujo de premontajes a través de la línea de ensamble

4.3. Movimientos y rotaciones de los operarios

Los operarios no rotaban de una forma especificada. Los que trabajaban en las tres primeras estaciones se turnaban cada dos horas entre ellos, pero los demás no cambiaban de posición. Todo ello influía considerablemente en la fatiga y aburrimiento de los operarios que no rotaban, además del riesgo de lesión que entrañaba la repetición de los mismos movimientos durante una jornada completa de trabajo. Al aplicar las técnicas de producción ajustada se tuvo en cuenta este factor y más adelante veremos como quedó resuelto.

La figura 7 refleja los movimientos que hacían los operarios cuando necesitaban abastecerse de material.

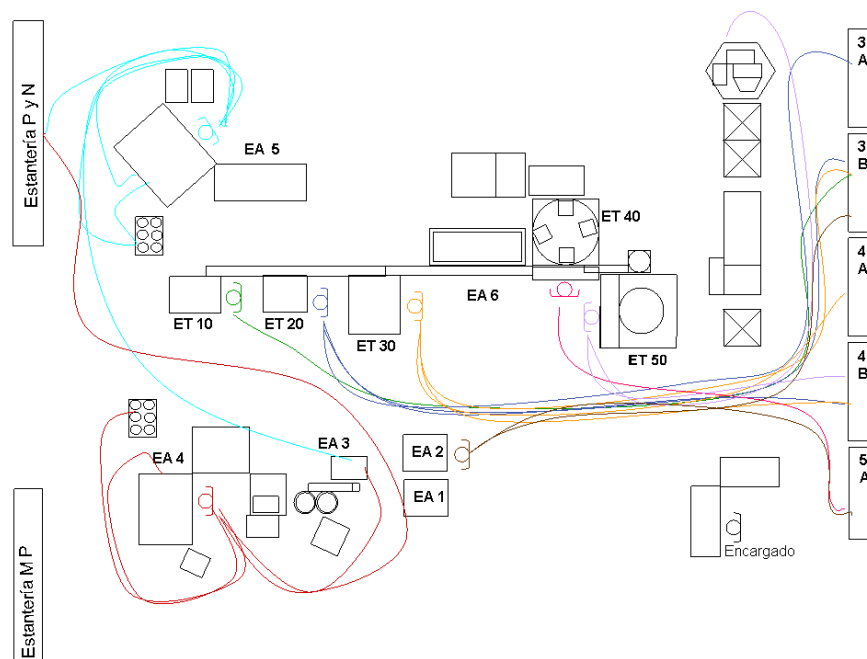


Figura 7. Diagrama Spaghetti, representa los movimientos que realizaban los operarios para abastecerse de material.

5. Oportunidades de mejora y posibles soluciones

En primer lugar se calculó el takt time para analizar las causas de falta de capacidad y retrasos en las entregas de producto.

Para el cálculo del takt time de la línea de ensamblaje se consideró una demanda diaria promedio de 3000 aparatos. El tiempo disponible era de 3 turnos de trabajo de 7.75 horas por turno una vez restados los descansos si se aplicaban unos factores correctores por necesidades personales y fatiga de los empleados del 15%.

El takt time se obtuvo como la división entre el tiempo neto disponible para producir los aparatos demandados y la demanda de éstos, así se obtuvo cada cuanto tiempo se debería producir un minicontactor para satisfacer la demanda.

$$TT = 7,75 \times 3 \times 3600 \times 0.85 / 3000 = 23,72 \text{ s/ud} \approx \mathbf{24 \text{ s/ud}}$$

El objetivo del diseño de la línea, era obtener un minicontactor terminado cada 24 segundos.

En la siguiente tabla se puede observar como no se cumplía con el objetivo de producción en el actual proceso ya que en ninguno de los modelos fabricados se trabaja por debajo del takt time.

Tabla 1. Tiempos característicos para cada modelo de minicontactor

Modelo	Tiempo de ciclo (s)	Takt Time (s)
MCCA	25	24
MCCAP	35	24
MCCC	25	24
MCCCP	35	24
MCME	38	24

A continuación se detallan los tiempos de ciclo de las estaciones de trabajo correspondientes al ejemplo descrito en el apartado 4: El ensamblaje del minicontactor de corriente continua de contactos especiales (MCCP).

Tabla 2. Resumen de tiempos de ciclo y takt time para el minicontactor MCCCCP

Estación de trabajo	Tc (s)	TT (s)
ET 10	35	24
ET 20	25	24
ET 30	24	24
ET 40	23	24
ET 50	19	24

Estos valores se representan gráficamente en el diagrama del equilibrado de la figura 8.

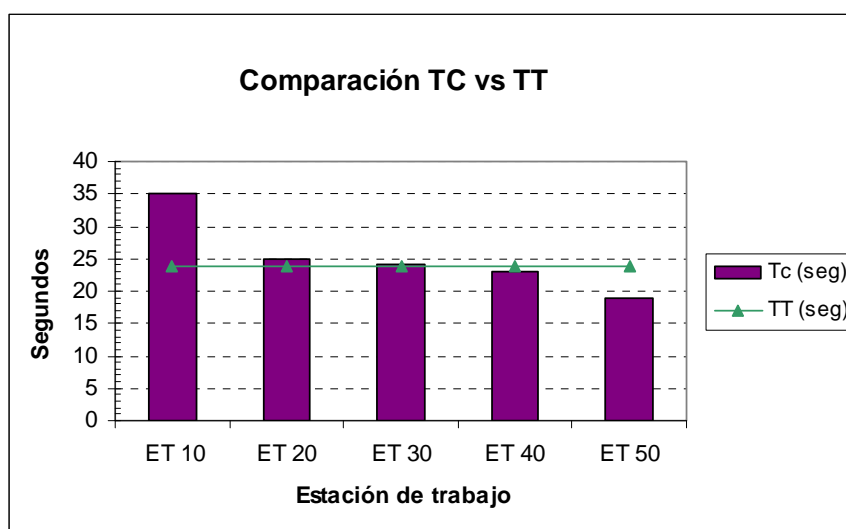


Figura 8. Gráfico de tiempos para el minicontactor MCCCCP

Puede observarse como las estaciones de trabajo que presentan oportunidad de mejora son la ET10, ET20 y ET30 ya que trabajan por encima o en el takt time. Las estaciones ET40 y ET50 estaban por debajo del takt time y no eran prioritarias desde el punto de vista de este estudio.

La estación ET10 requería 35s porque los contactos especiales eran muy pequeños y dobles por lo que requerían mucha manipulación al insertarlos a mano. La estación ET20 tenía gran cantidad de piezas que montar. La estación ET30 estaba justo en el takt time y había que intentar rebajarle el tiempo porque no se disponía de ninguna holgura de tiempo frente a incidencias eventuales. Además habría que estandarizarla y hacer que tuviera las mismas operaciones en corriente continua que en alterna para lo que se consideró la posibilidad de incorporar a la línea principal las estaciones auxiliares EA1 y EA2.

Éstas y otras oportunidades de mejora se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Oportunidades de mejora y posibles soluciones

Oportunidad de mejora/despilfarro	Solución posible
Acumulación de inventario en la línea: a parte del impacto económico, la acumulación de inventario en curso fue un buen indicador de la mala situación del proceso productivo.	Flujo Unidad a Unidad: Se trató de conseguir que las piezas pasaran de una estación de trabajo a otra una a una en lugar de en lotes de 25 piezas.
Cintas transportadoras: Suponían un despilfarro de transporte y de espacio. Eran una solución cuando la distribución en planta era ineficiente.	Célula de fabricación en “U”: Son la alternativa a las líneas en I. Las mesas de trabajo están cerca y los materiales se pueden pasar entre ellas con la mano.
Materiales mal ubicados y/o sin identificar: Los operarios no le daban importancia al hecho de que cada material estuviera en su ubicación fija, su contenedor debidamente identificado con el código, descripción, estación de trabajo donde se usa, cantidad, etc. Ello conllevaba a un despilfarro de tiempos y movimientos para encontrar un material y era una gran oportunidad de mejora ya que implicaba un riesgo importante de producir defectos en los aparatos porque había piezas prácticamente iguales, que se podían montar en el producto equivocado.	Identificación y ubicación de materiales, mejora del orden y control visual Era necesario crear unas ubicaciones fijas para los materiales con la correcta identificación del código de la pieza, descripción, la estación de trabajo donde se usaba, cantidad de piezas y peso.
Falta de sistema regular de aprovisionamiento: Los reponedores no daban abasto ya que no tenían definido un sistema regular de aprovisionamiento y no resultaba evidente que faltaba material en una estación de trabajo. Además, el almacén no estaba organizado por familias de producto, había muchas ubicaciones para un mismo material, etc. El resultado era que los mismos operarios se levantaban a por los materiales provocando una interrupción del flujo principal de la línea.	Two bin system: Se trató de implantar un sistema kanban de 2 contenedores. Éste consiste en un sistema sencillo y muy visual. Sólo hubo que calcular el consumo de piezas por día o por turno de trabajo de manera que en dos contenedores cupiera el material necesario para el periodo de tiempo que se deseara. El periodo promedio para el que se implantó fue de un turno de producción. Cuando un contenedor se quedaba vacío se ponía en una bandeja de evacuación y el reponedor podía darse cuenta fácilmente de que tenía que rellenarlo.

<p>Tiempo de ciclo superior a Takt time: En todos los modelos el tiempo de ciclo era superior al takt time, lo que implicaba que no se podía cubrir la demanda. Así, la tasa de servicio para el minicontactor no era todo lo buena que debía ser</p>	<p>Equilibrado de la línea: La solución al incumplimiento de takt time y al desequilibrio de la línea era la misma. Para solucionar el tiempo de ciclo superior al takt time hubo que equilibrar la línea. Reequilibrar la línea quiso decir redefinir las estaciones de trabajo para que todas tuvieran un tiempo de ciclo lo más similar posible, e inferior al takt time. Eso se consiguió quitando operaciones de las estaciones de trabajo con mayor tiempo de ciclo y añadiéndoselas a estaciones que iban más descargadas. Para el equilibrado de una línea se disponía de un estudio de tiempos por elementos realizado por un especialista en MTM.</p>
<p>Línea desequilibrada: La línea no estaba equilibrada para la mayoría de los modelos, hecho que implicaba un despilfarro en tiempo de espera para las estaciones de trabajo que iban más desahogadas. El problema se agravaba cuanto menos estándar era el modelo porque había una gran falta de flexibilidad</p>	
<p>Flujo ineficiente: El flujo de aprovisionamiento de premontajes era ineficiente porque se acumulaba en algunas ocasiones en el suelo, ya que no tenía ubicación o el espacio era insuficiente. Esa falta de ubicación y de integrar esas estaciones al proceso y conseguir flujo unidad a unidad suponía un despilfarro de material y tiempo que se perdía en buscar entre las cajas lo que se necesita. Además de los posibles desperfectos que la mala ubicación pudiera causar al producto.</p>	<p>“Pull flow” de reposición: Fue necesario crear un flujo de materiales orientado al proceso. La solución pasó por hacer un cambio de distribución incluyendo en la línea principal algunas estaciones auxiliares que realizaban los subconjuntos.</p>
<p>Tiempo de cambio de modelo elevado: Cuando había que cambiar de modelo todo se paralizaba unos minutos. Había que ir en busca de los materiales, preparar la línea, realizar ajustes, etc. La operación más lenta era el reajuste de la máquina de verificación y el cambio de etiquetas para pegar en los embalajes. En el cambio de etiquetas, el operario tenía que levantarse, ir hasta un ordenador 30 metros más allá, buscar las etiquetas que necesitaba, imprimirlas y enrollarlas. Todo este proceso tardaba más de 15 minutos lo suponía un gran despilfarro.</p>	<p>Reducción del tiempo de cambio: Para mejorar el tiempo de cambio se optó por hacer varias cosas. Lo más inmediato fue acercar la impresora de etiquetas a la estación de trabajo 50. Además se pensó en desarrollar un sistema de “kit” de cambio de modelo. Consistiría en tener el two bin system del nuevo modelo preparado en una estantería de manera que coordinado con el reponedor, se colocara en la estación de trabajo cada vez que se cambiara de modelo.</p>
<p>Ergonomía de los puestos de trabajo inadecuada: Observamos en la cadena de montaje que los accesos a los puestos de trabajo eran muy estrechos y que los operarios no disponían de espacio suficiente para trabajar cómodamente.</p>	<p>Mejora de la ergonomía: El único aspecto que cabía mejorar de la ergonomía, los espacios de trabajo para los operarios y las anchuras de los pasillos, quedaría fácilmente solucionado al aplicar una célula de trabajo en “U” con mesas de trabajo estándar.</p>

6. El Proyecto de Cambio

Después de analizar la situación inicial i definir cuales eran las oportunidades de mejora de la línea, fue el momento de elaborar una propuesta sólida y práctica para mejorar el proceso productivo.

Se analizó la línea de producción detenidamente, se pasaron muchas horas simplemente observándola para elaborar una propuesta de mejora y exponerla a la opinión de los encargados y operarios, ya que, para que funcionara, éstos la debían ver con buenos ojos y creer que mejoraría la producción, el inventario en curso, la ergonomía, etc.

Además, por ser un caso real se plantearon algunas limitaciones de diseño: Las estaciones de trabajo 40 y 50 no se podían mover. Se trataba de maquinaria muy delicada a la par que pesada. Se evaluó que costaba 3 días moverlas y otros 2 reajustarlas, por lo que esta posibilidad se descartó en un principio.

6.1. Nueva distribución en planta

Sobre un papel cuadriculado se dispusieron las estaciones de trabajo a escala, en papel y plastificadas para poder moverlas (ver figura 9) y ver si realmente era posible mejorar el layout.

Se hicieron dos propuestas. La primera era una distribución en L, pero no fue aprobada por los encargados y operarios, además presentaba el inconveniente de tener mover las estaciones automáticas e implicaba un paro de línea de 5 días. La segunda propuesta de layout era una U, separada de las estaciones auxiliares por una estantería de stock intermdio. La segunda opción fue aceptada mayoritariamente. Debe tenerse en cuenta que el personal era muy reacio a los cambios y la dirección quería ver algún resultado antes de mover las estaciones, de modo que era importante obtener el consenso de todos los implicados.

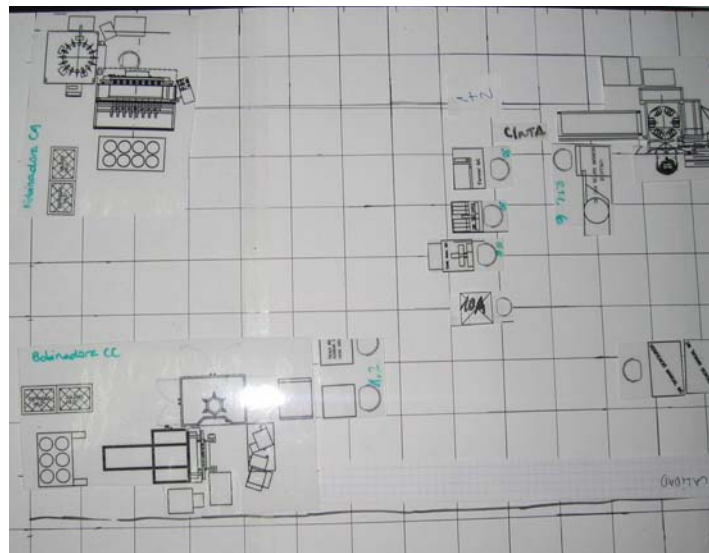


Figura 9. Borrador de una versión provisional de layout, a escala sobre una hoja cuadriculada a 1 m.

El resultado que se observa en la figura 10 partió de esta propuesta inicial una vez aceptada por los participantes en el proyecto y resueltos los detalles técnicos. Con esta distribución ya era viable implantar las técnicas flujo de unidad a unidad y de subministro de material en flujo tirado (two-bin-system) con aprovisionamiento frontal de los puestos. Con el cambio

de distribución se redujo el espacio ocupado por la línea y se liberaron dos zonas que antes estaban ocupadas. La superficie ocupada por la solución propuesta fue de 80 m².

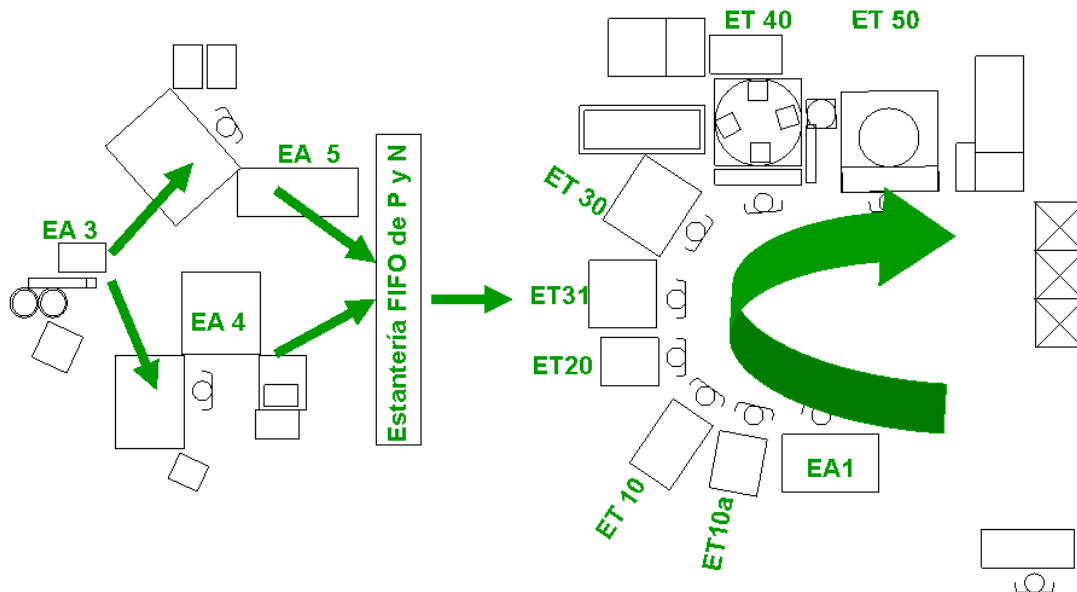


Figura 10. Distribución propuesta para el layout final

Además de mover físicamente los puestos de trabajo se reequilibró la línea de ensamblaje para todos los modelos, de lo que surgió la necesidad de añadir dos estaciones más: la estación auxiliar EA10a y la estación de trabajo ET31. Estas estaciones de trabajo estaban abiertas sólo para algunos modelos, en caso de no ser necesarias se saltaban. La estación EA10a ayudaba a la ET10 en modelos que presentaban un tiempo elevado (como muelle especial y contactos especiales) y la estación ET31 realizaba operaciones de la ET30 en los modelos de corriente continua.

6.2. Ejemplo de reequilibrado de la línea para el modelo MCCCCP

El principal problema del equilibrado inicial residía en la ET 10 que necesitaba 35 segundos para completar su ciclo de trabajo. La solución que se propuso fue incorporar una nueva estación auxiliar EA10a que realizaba parte de las operaciones de la ET10. Además, para este modelo fue necesario reequilibrar las estaciones ET 20 y la ET30. También se añadió una nueva estación de trabajo, la ET31, que, además de reequilibrar la ET30, realizaba en línea las operaciones de la antigua estación auxiliar EA20. Antiguamente, las operaciones de la EA20 se realizaban fuera de línea, por lo que no se requirió personal adicional para la ET31. A continuación se presenta el nuevo equilibrado de la línea:

Estación auxiliar 3 (EA3): conjunto L o LL para EA 4 y 5 (corriente alterna y continua respectivamente)

1. *Coger pieza 13 (ó 14 según modelo) de una caja.*
2. *Poner en el utillaje.*
3. *Accionar el utillaje para que acople a la pieza 13 dos piezas 14.*
4. *Coger conjunto resultante L (o LL según modelo).*
5. *Dejar L o LL en una caja.*

Estación auxiliar 5 (EA5): Conjunto N para ET 30 (corriente continua)

1. *Coger conjunto L de una caja.*
2. *Poner L en una máquina.*
3. *Mientras la máquina trabaja coger el L que ya ha salido de la máquina.*
4. *Ponerlo en otra máquina, obteniendo luego M.*
5. *Poner cinta adhesiva protectora a M.*
6. *Poner pieza 14 a M, obteniendo N.*
7. *Poner N en una caja.*

Estación Auxiliar 1 (EA1): montar conjunto A (sólo corriente continua)

1. *Coger pieza 17 de una caja.*
2. *Coger pieza 18.*
3. *Insertar pieza 18 en los orificios correspondientes en pieza 17.*
4. *Coger una pieza 19.*
5. *Acoplar piezas 17 y 18 preensambladas en 19.*
6. *Eliminar la posible rebaba en la pieza 18 con la ayuda de una cuchilla.*
7. *Poner subconjunto A obtenido en una bandeja.*

Sincronizada con el Tc de la línea y produciendo únicamente en el caso de referencias de corriente continua. En el caso de corriente alterna esta estación estaba cerrada. Podría considerarse la primera “estación de trabajo” de la línea de producción para corriente continua.

(EA 10a) Estación auxiliar 10a (Tc=17,45s)

1. *Coger conjunto A de su caja o bandeja y verificar visualmente (1,74 s)*
2. *Coger 2 piezas 15 dobles, montar en conjunto A con la ayuda de pinzas (13,5 s)*
3. *Colocar el conjunto A en la unión con la mesa siguiente (2,08 s)*
4. *Aprovisionar material (0,13 s)*

(ET 10) Estación de trabajo 10 (Tc=23,02s)

1. *Coger el conjunto A de su caja o bandeja y verificar visualmente. (1,74 s)*
2. *Insertar 2 piezas 15 dobles en A (15,5 s)*
3. *Colocar A en el utillaje, accionar utillaje. (3,70 s, tiempo de máquina)*
4. *Coger conjunto resultante B de utillaje, ponerlo en la mesa siguiente. (2,08 s)*

(ET 20) Estación de trabajo 20 (Tc=22,62s)

1. *Coger una pieza 2 de su caja a la vez coger un conjunto B, procedente de la ET 10, de la bandeja y examinar visualmente. Insertar el conjunto B, en pieza 2. (3,95 s)*
2. *Posicionar conjunto resultante C en el utillaje y poner pieza 5. (3,75 s)*
3. *Posicionar en utillaje 8 piezas 3. (10,62 s)*
4. *Posicionar en utillaje 1 pieza 4 en la correspondiente ranura. (2,97 s)*
5. *Pulsar el botón para que el utillaje los inserte las piezas 3 y 4 en C. (2,18 tiempo de máquina).*
6. *Verificar el resultado visualmente, conjunto D, y dejar en la misma bandeja de donde se coge el conjunto B para cuando está completa pasar posteriormente a la siguiente estación de trabajo. (1,15 s)*
7. *Aprovisionar material de contenedores (0,18 s)*

(ET 31) Estación de trabajo 31 (Tc=17,26s)

1. *Coger pieza 20 de una caja (1,74 s)*
2. *Coger 2 piezas 21 de su contenedor (2,03 s.)*
3. *Insertar piezas 21 en 20 (2,52 s)*
4. *Coger 2 piezas 22 de su contenedor (2,03 s)*
5. *Colocar piezas 22 en 20 obteniendo conjunto E (3,2 s)*
6. *Coger pieza 9 de una caja (1,74 s)*
7. *Insertar la conjunto E en pieza 9 obteniendo conjunto S (3 s)*
8. *Dejar sobre rampa para ET 30 (1 s)*

(ET 30) Estación de trabajo 30 (Tc=20,79s)

1. *Coger conjunto N, premontado en EA4 y almacenado en una estantería, de una caja y colocar encima de la mesa. (2,80 s).*
2. *Coger conjunto S de una bandeja (premontado en ET 31) acoplar conjunto N a S, obteniendo conjunto F. (1,76 s)*
3. *Coger pieza 8 de una bandeja, coger el conjunto D, procedente de la estación 20, y posicionar pieza 8 en D. Unir F y D cerrando contactor. (5,13 s)*
4. *Poner pieza 7 en nuevo conjunto I. (4,01 s)*
5. *Insertar pieza 4 en la correspondiente ranura. (2,97 s)*
6. *Verificar con destornillador y dejar en la cinta transportadora. (3,13 s)*
7. *Aprovisionar material. (0,99 s)*

(ET 40) Estación de trabajo 40 (Tc=23s)

1. *Coger el ensamblaje procedente de la estación anterior I y colocarlo en la mesa.*
2. *Colocar pieza 12 sobre piezas 11.*
3. *Situar imán que atrae piezas 11 sobre 12 para ensamblarlas obteniendo J.*
4. *Colocar en conjunto I en la máquina.*
5. *Repetir 1 y 2.*
6. *Colocar conjunto resultante K en una máquina.*
7. *Sacar el aparato K de máquina y dejarlo sobre la mesa de la siguiente estación.*

El tiempo de ciclo (23 s) lo seguía marcando el tiempo de máquina ya que era superior al tiempo de las operaciones manuales.

(ET 50) Estación de trabajo 50 (Tc=19s)

1. *Coger el aparato K y lo examinarlo visualmente.*
2. *Colocar el aparato K en la máquina de verificar.*
3. *Mientras se verifica, pegar una etiqueta a la caja individual.*
4. *Si aparato correcto, introducir en embalajes individual y múltiple.*
5. *Si no es correcto colocar una etiqueta de defecto y dejarlo en bandeja.*

El tiempo de ciclo lo marcaba el tiempo de máquina ya que era superior al tiempo de las operaciones manuales. (19 seg)

El resumen de los tiempos de ciclo inicial y propuesto para el producto MCCP se recoge en la tabla 4.

Tabla 4. Comparación de los tiempos del proceso anterior con los modificados por el equilibrado para el MCCCCP

Estación de Trabajo	Anterior (s)	TT (s)	Propuesta (s)
ET 10a	-	24	17,5
ET 10	35	24	23
ET 20	25	24	23
ET 31	-	24	17
ET 30	24	24	21
ET 40	23	24	23
ET 50	19	24	19

El diagrama del equilibrado de la figura 11 representa gráficamente el tiempo de ciclo en la situación inicial y propuesta para el modelo MCCCCP.

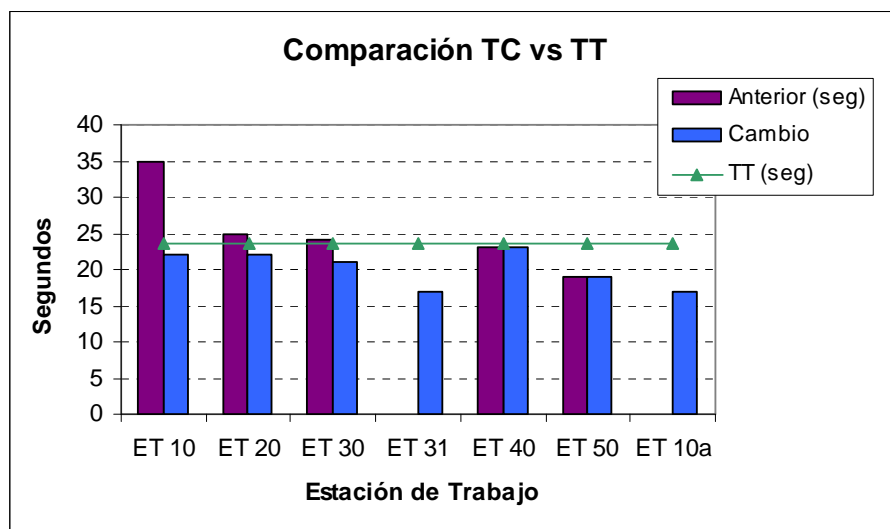


Figura 11. Diagrama de equilibrado de los tiempos de ciclo anterior con los para el MCCCCP

Como el modelo MCCCCP es el que tiene más operaciones de ensamblaje, el resto de modelos tendrá un equilibrado con menos estaciones. De este modo, las operaciones comunes se realizan siempre en las mismas estaciones independientemente del producto y no es necesario reequilibrar la línea para cada modelo.

6.3. Abastecimiento cíclico de material: implantación del two bin system

Se calculó un two bin system de manera que la cantidad de piezas que había en cada estación de trabajo no superara las necesarias para un turno. Para ello se estableció una frecuencia de reposición de 4 horas.

En el diseño se tuvo en cuenta la dimensión de cada pieza y el peso del contenedor. Se analizó cada pieza determinando el tamaño de contenedor adecuado. Para que el two bin system funcionara era necesario que las mesas de trabajo estuvieran adaptadas; se necesitaban unas bandejas ligeramente inclinadas hacia el operario para suministrar el material frontalmente y otra ligeramente inclinada hacia fuera de la línea para evacuar contenedores vacíos y facilitar así el trabajo del reponedor.



Figura 12. Sistema de aprovisionamiento frontal de la estación de trabajo

El funcionamiento era ordenado y sencillo. Había que pasar a reponer la línea cada 4 horas. Además se compró un carro con dos bandejas, una para que los reponedores colocaran los contenedores vacíos y otra para que pusieran los llenos.

Así al empezar el turno el reponedor cogía el carro, realizaba el circuito de reposición, recogía los contenedores vacíos que veía en las bandejas de evacuación, se iba al almacén, los rellenaba y los devolvía a las bandejas de subministro donde cada hueco estaba destinado a una pieza y por tanto debidamente identificado. Luego repetía el circuito al cabo de 4 horas.

7. Conclusiones

El proyecto de estudio e implantación duró de seis meses de análisis, reingeniería, equilibrado, cambios de distribución, e implantación de otras técnicas lean. se consiguió el objetivo de cumplir con la demanda. Los tiempos de ciclo se redujeron por debajo del takt time en todos los casos. De ese modo la productividad aumentó notablemente y se pudo alcanzar el objetivo de capacidad para fabricar sin problemas las 3000 unidades/día.

La flexibilidad era mayor después de los cambios, ya no importaba qué modelo se fabricara, todos se montaban en la misma línea y los materiales siempre estaban disponibles en las

estaciones de trabajo por lo que el tiempo de cambio se redujo de 15 minutos a menos de 3 minutos.

También se consiguió reducir el inventario en curso, el flujo implantado entre estaciones era unidad a unidad. Solo se mantuvo una pequeña cinta entre las estaciones ET30 y ET40 por un problema de distancia debido al volumen de la máquina en la estación ET40. No obstante ya no transportaba 100 aparatos, sino sólo 1 ó 2. Ya no había cajas por el suelo llenas de aparatos esperando llegar a la estación de trabajo ET40, el espacio estaba despejado y la sensación que ofrecía era la de que todo estaba controlado.

El sistema de aprovisionamiento two bin system resultó eficaz. Al principio costó adaptarse pero a los pocos días funcionaba muy bien y el material estaba donde debía estar en el momento que debía. Se mejoró notablemente el espacio ocupado y el orden en las estanterías de aprovisionamiento gracias a la implantación de las 5S.

La ergonomía de los puestos mejoró también. Los espacios estrechos se terminaron y los pasillos estaban despejados de material en curso así que todo parecía más ordenado y despejado lo que favoreció un mejor entorno de trabajo. También mejoraron las condiciones de iluminación en las mesas de trabajo, ya que cada una de las nuevas mesas incorporaba una lámpara que ofrecía la luz adecuada.

El espacio requerido por la línea era menor ya que se mejoró el layout general, se redujo el espacio de pasillos que antes necesitaban y también el espacio que ocupaban las cajas de inventario en curso que producían las estaciones auxiliares no sincronizadas en flujo tirado. También se redujo mucho el espacio requerido al quitar las cintas transportadoras y poner las estaciones de trabajo juntas de forma que se pudiera pasar el material de puesto a puesto a mano por los operarios.

A modo de resumen se detallan cuantitativa o cualitativamente los cambios desde la situación inicial al resultado de la acción interna en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los cambios aportados por el estudio

Oportunidad de mejora	Situación inicial	Situación final	Diferencia
Número de unidades producidas/día	2650 ud	3608 ud (después de 2 meses de funcionamiento)	+ 958 ud (+ 36,1%)
Productividad	19 ud/h*p	23 ud/h*p	+ 21%
Inventario en curso	120 ud	15 ud	- 87,5 %
Flexibilidad	poca	total	mejora
Sistema regular de aprovisionamiento	no	sí	mejora
Ergonomía	regular	buena	mejora
Superficie ocupada	150 m ²	80 m ²	- 47%

Pero en todo habría que seguir mejorando. Los rediseños mejoraron radicalmente el proceso pero fue necesario implantar un sistema de mejora continua (kaizen) después de un cambio por reingeniería (kaikaku). La mejora continua debería resolver los problemas de menor

importancia surgidos con la implantación del nuevo diseño, así como mantener y mejorar el entorno de trabajo con la implantación de técnicas como las 5S, poka-yoke y polivalencia de los empleados.

Además hubo un cambio importante en la mentalidad de los trabajadores. Por primera vez se les demostró que una mejora evidente era posible. Estaban contentos de ver que todo estaba en su sitio y de que podían trabajar cómodamente sin pensar en levantarse a por material. El reponedor se encargaba de hacerlo y lo hacía bien porque el two-bin-system funcionaba. Todo estaba ordenado, los pasillos despejados y la línea libre de producto en exceso, lo que mejoraba las condiciones de trabajo. Tampoco tenían tanta presión ya que ahora cumplían con los objetivos de producción sin problemas gracias a un mejor equilibrado. Y todo eso los motivaba a seguir mejorando haciendo propuestas a sus encargados, que se recogían y se tenían en cuenta. Todas las personas que trabajaban en la línea se sentían parte del cambio y eso los animaba.

8. Bibliografía

- Cuatrecasas, L. (2006) *Claves de Lean management: un enfoque para la alta competitividad en un mundo globalizado*. Gestión 2000.
- Hirano, H. (2001) *Manual para la implantación del JIT una guía completa para la fabricación "just in time"*. Tecnología de Gerencia y Producción.
- Hirano, H. (1997) *5S para todos: 5 pilares de las fábricas visuales*. TGP Hosin, DL.
- Imai, M. (1989) *Kaizen: la clave de la ventaja competitiva japonesa*. Compañía Editorial Continental.
- Kenichi, S. (1993) *Diseño de células de fabricación: transformación de las fábricas para la producción en flujo*. Productivity Press.
- Liker J.K. (2006) *Las claves del éxito de Toyota*. Gestión 2000.
- Suñé, A.; Gil Vilda, F. e I. Arcusa (2004) *Manual práctico de diseño de sistemas productivos*. Díaz de Santos.
- Tapping, D.; T. Luyster y T. Shuker (2003) *Gestión del flujo de valor : ocho pasos para implantar métodos de producción "lean"*. TGP Hoshin, DL.
- Womak, J.P. y D.T. Jones (2005) *Lean Thinking*. Gestión 2000.
- Womak J.P. y D.T. Jones (2007) *Soluciones Lean*. Gestión 2000.